

東京湾アクアライン橋梁部の通行規制のための風速の統計的短期予測

横浜国立大学 学生会員 ○徳江良
 横浜国立大学 正会員 シリングリゴ, ディオン
 フェロー 藤野陽三

1. 研究背景・目的

車両の走行を阻害する要因として横風があげられる。橋梁上では横風の影響を受けやすく、事実、強風時に横転事故が発生している。2018年の台風20号、21号では43件もの横転事故が報告されている。東京湾アクアラインでは、10分間平均風速が20m/s以上となる場合に通行止めを行っており、年間で合計50時間の通行規制が行われており、今後も強風の影響が懸念される橋梁の一つである。この基準値を使った通行止めは開始の判断は比較的容易であるが、解除の判断は難しい。通行止めの解除を判断した後に、風速が再び基準値に達しないという根拠がなければ、通行止めの解除を判断することはできないからである。この通行止め解除の判断の根拠として短期風速予測が使えるのではないかと考えた。

そこで本研究では、短期風速予測手法の一つである統計的手法のARIMAモデル[1]を用いて、アクアラインの風速予測を行い、その結果をどのように使えば、実際の通行止め解除時間よりも通行止め解除時間を短縮することができるかに着目して、評価することを目的とする。

2. ARIMAモデルとデータ諸元

ARIMAモデルは、短期風速予測に長けており、風速の時系列データの関係性から風速を予測する統計的手法の非定常モデルの一つである。ARIMAモデルは以下の式(1)で表される。

$$\nabla^d V_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i \nabla^d V_{t-i} + \sum_{i=1}^q \theta_i \nabla^d \varepsilon_{t-i} \quad (1)$$

V_t は風速、 $\nabla^d V_t$ はd階差分をとった風速、 d, p, q はモデルパラメータ、 φ_i, θ_i はモデル係数、 ε_t は誤差項をそれぞれ表している。この中でモデルパラメータを選択する際に、過適合の点から適切な選択が必要となるため、

赤池情報量基準を用いて、パラメータごとにモデルへの当てはまりの質を評価する。

風速データは2016年8月から2018年4月までにアクアラインで発生した計16件の通行止め時の10分間平均風速が1分ごとに記録されている風速データを用いた。この内1件は実際の通行止め解除時間よりも後に実際の風速が20m/sを超えたため除外する。このデータは、通行止めになった日の前後1日分の計3日分のデータで構成されている。また、台風が強風の要因である場合とそれ以外の低気圧が強風の要因である場合では、風速の時系列変化が違ふと考え、要因ごとに場合分けをして予測を行うこととした。

3. 予測手法と訓練時間による予測精度の比較

解析ソフトMATLABを用いて、ARIMAモデルのパラメータからモデル係数を推定し、そのモデルから風速予測を行う。最初に、風速データの自己相関関数からdの値を決定する。次に訓練時間内のデータを使って、p, qの値を赤池情報量基準により適宜一番良いとされるp, qの値を選択する。そのp, qの値からARIMAモデルを構築し、そのモデルを使って予測時間分を予測する。その後、予測時間分訓練時間をずらし、同じように予測を進めていく。ARIMAモデルに使う予測時間を30ステップ先である30分、訓練時間に用いる時間の長さを6時間、12時間、18時間の3パターンに設定し、風速予測を行った。予測精度にはこの分野で広く使われているMAPEを用いた。MAPEは以下の式(2)で表される。

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{V_t - f_t}{V_t} \right| \quad (2)$$

V_t は実際の風速、 f_t は予測した風速を表している。

MAPEは実測値に対しての誤差の割合なので、0に近

キーワード 東京湾アクアライン, 風速予測, ARIMAモデル, 赤池情報量基準, 通行止め時間, MAPE

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL:045-339-4041 FAX:045-348-4565

いほど精度が良いことになる。表 1 に示すように、どちらの場合でも訓練時間を長く使うと予測精度が良くなることがわかった。しかし、台風以外の場合では、訓練時間が 18 時間ではモデル係数を導出することができないエラーが 1 件出たこと、6 時間と 12 時間での予測精度のばらつきの幅を比較すると、6 時間の方が小さかったことを考慮して、6 時間を予測に使うことにした。

表 1 訓練時間による MAPE

	6 時間	12 時間	18 時間
台風	0.150	0.144	0.143
低気圧	0.137	0.136	0.132

4. 通行止め解除時間の予測と判断

予測精度を用いて、通行止め解除時間の予測を行った。図 1 は 2016 年 10 月 5, 6 日の風速予測の結果を表している。

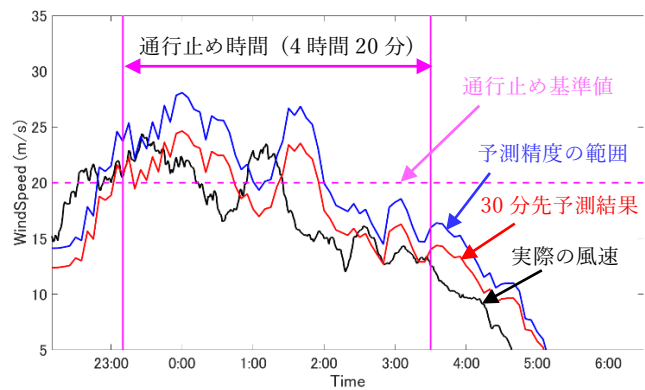


図 1 2016 年 10 月 5, 6 日の通行止め時の風速予測

予測精度の範囲とは、表 1 の値を用いて、予測結果から信頼境界として、図示したものである。この予測精度の範囲が 20m/s よりも下で落ち着いた場合に通行止めを解除するということとし、全 16 件で検証を行った。この下に落ち着いたと判断するための時間を様子見時間とし、その時間を 30, 45, 60, 90 分の 4 パターンに設定して比較を行った。また、様子見時間内に再び予測精度の範囲が 20m/s に達した場合は、通行止めを解除しないと判断するものとする。

表 2 に示すように、台風の場合の 4 件の通行止めでは、様子見時間が 30 分で良いとわかった。しかし、台風以外の場合の 11 件の通行止めでは、様子見時間が 30 分であると、通行止め解除時間は短縮することができるが、解除の判断が早い場合が 5 件で実用的でないことがわかった。様子見時間が 45 分では、3 件で解除の判断が早いという結果となった。様子見時間が 60 分

は、1 件しか解除の判断が早い場合は出なかったが、解除の判断が実際の判断よりも遅れた場合が 2 件確認された。さらに 90 分とすると、解除の判断が早い場合は無くなったが、解除の判断が実際の判断よりも遅れた場合が 8 件にもなった。安全性を取るならば、もちろん 90 分の様子見時間を用意した方が良いのだが、それでは目的である通行止め解除時間の短縮ができないこととなる。しかし、その他の様子見時間では安全な通行止め解除を保証することはできない。

そこで、東京湾アクアラインの管理会社が委託している株式会社ウェザーニューズの気象予測と組み合わせることで、通行止め解除時間の予測を行えないか検討した。この気象予測は 1 日に 2~4 回の頻度で発出される 1 時間ごとの 36 時間先までの気象予測である。この気象予測による風速予測が下降傾向にある場合には、様子見時間を 30 分、それ以外の場合では、様子見時間を 90 分として検討を行った。その結果、15 件全てで通行止め解除時間の短縮に成功した。

表 2 通行止め解除の判断結果

	分	台風		台風以外	
		短縮成功	解除が早い	短縮成功	解除が早い
様子見時間	30	4	0	11	5
	45	4	0	11	3
	60	4	1	9	2
	90	4	1	3	0
ウェザーニューズとの併用		4	0	11	0

5. おわりに

本研究では、ARIMA モデルを用いた、短期の風速予測と株式会社ウェザーニューズによる風速予測から実用的な通行止め時間の短縮ができるという結果を得た。今後は他の通行止め事例においてこの予測方法で正確に通行止め解除時間を予測できるか検討することと、モデルを変えて予測精度の比較を行い、通行止め時間をさらに適切に決定できるかについて研究する必要があると考える。

謝辞 東京湾アクアラインの管理会社の親会社である NEXCO 東日本株式会社には、風速データの供与他便宜をいただきました。深く感謝を申し上げます。

参考文献

[1] Heping Liu, Jing Shi, Ergin Erdem : Prediction of wind speed time series using modified Taylor Kriging method, Energy, Vol 35, Issue 12, 2010, pp.4870-4879.